

基于图像处理的指尖跟踪过程仿真分析

王佳欣, 文政颖

(河南工程学院 计算机学院, 河南 郑州 451191)

摘 要: 在多约束环境下, 依靠贝叶斯统计对多约束问题的简化作用, 根据贝叶斯原理对采集的图像特征进行筛选, 依据贝叶斯规则求取后验概率, 对图像特征进行归一化处理, 并通过建立颜色统计模型进行肤色概率信息计算, 简化跟踪过程. 实验结果表明, 利用改进算法进行指尖图像跟踪, 能够提高检测的精确性与鲁棒性.

关键词: 图像处理; 指尖跟踪检测; 人机交互

中图分类号: F127

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)11-0121-04

The Fingertip Tracking Process Simulation Analysis Based on Image Processing

WANG Jia-xin, WEN Zheng-ying

(School of Computer, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: Based on the fingertips of thinking image tracking algorithm is proposed. In constraint conditions, the bayesian statistical simplifying constraint problems, according to the principle of the bayesian filter, with the image characteristics of based on bayes' rule to calculate the posterior probability, to normalized processing of image characteristics, and through the establishment of color skin probability information of statistical model, simplify the tracking process. Experimental results show that the improved algorithm to image tracking at your fingertip, can improve the detection accuracy and robustness.

Key words: image processing; Tip of the finger trace detection; Human-computer interaction

1 引言

计算机视觉技术是人机交互方式的重要手段, 指尖跟踪技术是其领域的一个重要分支, 利用指尖跟踪技术进行人机交互的新形式, 因其便捷性, 已经逐渐成为该领域重点研究的课题^[1-3]. 现阶段, 主流的指尖图像跟踪过程用到的方法包括基于模拟退火的指尖跟踪过程检测方法^[4]、基于数据手套设备的指尖跟踪过程检测方法^[5]和基于马尔科夫算法的指尖跟踪过程检测方法^[6]. 其中, 最常用的是基于马尔科夫算法的指尖跟踪检测方法^[7]. 由于对于指尖跟踪的有效检测, 能够保证人机交互的精确感应, 实现较为高效的机器控制和操作^[8-9]. 因此, 具有十分广泛的应用前景, 受到了相关专家的重点关注^[10]. 但

是, 在进行指尖跟踪检测过程中, 由于背景环境的复杂性, 实现条件的束缚性, 利用传统的方法进行指尖跟踪检测无法保证跟踪检测的准确性与鲁棒性.

为了避免上述算法的缺陷, 提出基于决策思维的指尖图像跟踪算法, 利用改进算法进行指尖跟踪过程检测, 能够提高检测的鲁棒性, 为人机交互的实现提供强大的技术支持, 具有极大的优越性.

2 指尖动态过程的存在弊端分析

指尖跟踪过程的检测最重要的是对指尖的多帧图像的动态特征检测, 在指尖跟踪过程中, 指尖的作用为识别手指移动方位, 因其形状的稳定性, 在检测过程中以指尖形状为特征, 获取指尖的坐标位置, 完成跟踪.

收稿日期: 2014-01-22; **修回日期:** 2014-03-15

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目(14A520066)

将手指的图像颜色空间转换成 HSV 模式,更有益于特征的有效提取,对新的 H 分量进行分析,获取图像相应的色度图,即:

$$q_u = \sum_{i=1}^n \delta[c(x_i) - u] \quad (1)$$

式中, q_u 表示色度图的分量 u 的取值, x_i 表示组成像素, $c(x_i)$ 表示 x_i 的量化值.

将上述公式的尺度进行修正,获取到新的公式为

$$\left\{ p_u = \min \left[\frac{255}{\max(q_u)} q_u, 255 \right] \right\}_{u=1,2,\dots,n} \quad (2)$$

由上式能够获取手指图像的反向投影图.

若已知待选目标区域中心为 y , 则区域的约束公式描述如下:

$$\hat{p}_u = C_h \sum_{i=1}^n k \left[\left\| \frac{x_i - x_0}{h} \right\|^2 \right] \delta[b(x_i) - u] \quad (3)$$

手指与既定模型的相似度能够用下式计算获得:

$$\hat{\rho}(y) = \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) q_u} \quad (4)$$

式中, $\hat{p}(y)$ 的取值最大时表示当前位置目标出现的几率最高, 将上式展开得到结果如下:

$$\begin{aligned} \hat{\rho}(y) &= \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) q_u} + \\ &\frac{C_h}{2} \sum_{n=1}^n \omega_i \left[\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right] \end{aligned} \quad (5)$$

其中,

$$\omega_i = \sum_{u=1}^m \delta[b(x_i) - u] \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(y_0)}} \quad (6)$$

具体运算步骤描述如下:

(1) 已知手指区域中心 y_0 , 跟踪的概率分布为 $\{\hat{p}_u(\hat{y}_0)\}_{u=1,2,\dots,m}$, 则其系数为

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y_0) \hat{q}_u} \quad (7)$$

(2) 通过运算获取动态指尖在图像中下一刻的位置坐标:

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} x_i \omega_i g \left[\left| \frac{\hat{y} - x_i}{h} \right|^2 \right]}{\sum_{i=1}^{n_k} \omega_i g \left[\left| \frac{\hat{Y} - x_i}{h} \right|^2 \right]} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} x_i \omega_i}{\sum_{i=1}^{n_k} \omega_i} \quad (8)$$

(3) 计算 $\{\hat{p}_u(\hat{y}_1)\}_{u=1,2,\dots,m}$ 的约束值, 对式(7)进行更新:

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y_1) \hat{q}_u} \quad (9)$$

(4) 判断, 如 $\|\hat{y}_1 - \hat{y}_0\| < \epsilon$ 则, 停止运算, 输

出结果, 相反, $\hat{y}_1 \rightarrow \hat{y}_0$, 重复上述步骤, 直至满足输出条件. 通过以上过程可以看出, 跟踪过程引入了约束条件, 增大了计算量, 如果手指快速移动, 那么会存在跟踪滞后的弊端.

3 基于图像处理的指尖跟踪过程仿真

3.1 贝叶斯分类决策的引入

由于当前的跟踪过程中, 引入了多重约束条件, 存在滞后的问题, 采用贝叶斯滤波方法对采集到的图像特征进行过滤, 即是采用已知数据信息对状态变量的相关后验概率密度进行构造, 根据贝叶斯对多重约束问题的简化能力, 完成优化跟踪过程.

当手指的状态具有不同取值时, 其置信度 $p(x_k | y_{1:k})$ 能够通过观测数据 $y_{1:k}$ 实现, 从而完成状态的最优估计.

假定手指的特征向量序列用 $\{x_k, k \in N\}$ 表示, k 用来描述时间序列的标号, $\{x_k \in R^{n_x}\}$ 用来描述时刻 k 的状态向量, 则手指运动状态空间模型可以用下式描述:

$$x_k = f_k(x_{k-1}, u_k, v_k) \quad (10)$$

其观测方程表达式为

$$y_k = h_k(x_k, w_k) \quad (11)$$

式中, x_k 表示系统状态, y_k 表示手指观测值, f_k, h_k 表示非线性函数, v_k 表示非线性噪声, w_k 表示观测噪声.

依据贝叶斯观点, 根据时刻 k 的观测值 $y_{1:k} = \{y_i, i = 1, 2, \dots, k\}$ 可对当前手指的运动状态 x_k 进行估计. 若已知手指运动中的先验概率 $p(x_0)$ 的值, 则后验概率 $p(x_k | y_{1:k})$ 能够用下述方法获得.

(1) 获取先验概率密度函数

给定 $p(x_{k-1} | y_{1:k-1})$ 为时刻 $k-1$ 的概率密度函数, 则状态转移的过程可以描述如下:

$$p(x_k | x_{k-1}, y_{1:k-1}) = p(x_k | x_{k-1}) \quad (12)$$

由上式可知, 时刻 k 的先验概率密度函数可以由下式计算获取:

$$p(x_k | y_{1:k-1}) = \int p(x_k | x_{k-1}) p(x_{k-1} | y_{1:k-1}) dx_{k-1} \quad (13)$$

(2) 更新函数值

根据相关理论可以获取 k 时刻的观测值 y_k , 依据贝叶斯准则进行更新得到的结果如下:

$$p(x_k | y_{1:k}) = \frac{p(y_k | x_k) p(x_k | y_{1:k-1})}{p(y_k | y_{1:k-1})} \quad (14)$$

式中,

$$p(y_k | y_{1:k-1}) = \int p(y_k | x_k) p(x_k | y_{1:k-1}) dx_k \quad (15)$$

$p(y_k | y_{1:k-1})$ 用来描述系统状态从 x_{k-1} 转移到 x_k 后的观测值相似度,即是先验概率. $p(y_k | y_{1:k-1})$ 用来描述归一化常数. 通过对观测值 y_k 的修正,从而获取时刻 k 的后验概率.

通过贝叶斯对采集到的图像进行特征过滤,为基于图像处理的指尖跟踪过程提供数据支持,简化约束过程.

3.2 指尖检测跟踪过程的特征提取模型

由于人体肤色具有一致性,在对图像像素点是否为肤色的判断中,可以通过构建颜色统计模型来进行概率计算.

给定指尖肤色似然性分布用 $P(r, g, b | skin)$ 表示,非肤色像素分布用 $P(r, g, b | nonskin)$ 表示,则依据贝叶斯法则,任意像素点为皮肤的概率可以通过下式计算:

$$P(skin | r, g, b) = \frac{P(r, g, b | skin) P(skin)}{P(r, g, b)} \quad (16)$$

上式中,

$$P(r, g, b) = P(r, g, b | skin) \times P(skin) + P(r, g, b | nonskin) \times P(nonskin) \quad (17)$$

依据相关理论分别构建肤色与非肤色的直方图,对 $P(r, g, b | skin)$ 与 $P(r, g, b | nonskin)$ 的值进行估计.

对待选图像区域中的所有像素点的后验肤色概率进行加权归一化,所获取的加权值最大的区域即为人的指尖区域.

3.3 指尖跟踪

对于人手区域的闭合轮廓的最大内接圆表示距离目标边界人手最长的像素点,获取最小距离的最大值为最大内接圆圆心,即:

$$D(r, c) = \max\{\min(d(s(x, y), r(i, j)))\} \quad (18)$$

式中, $s(x, y)$ 用来描述人手边缘点, $r(i, j)$ 用来描述人手内部的像素点. 已知图像中轮廓曲线的曲率较大的边缘点为指尖点,依据相关方程式计算轮廓边缘点曲率,从而获取到指尖的关键点.

通过对待选指尖关键点及检测到的指尖边缘进行二次曲线拟合处理,计算指尖轮廓的抛物线极值点. 通过计算获取指尖点的像素坐标为

$$p(i) = T_{\theta}^{-1}(p_l(i)) \quad (19)$$

假定指尖运动过程为一个动态系统的运动过程,且为匀速运动,由此,构建指尖跟踪的运动方程如下:

$$x(k) = Fx(k-1) + Bu + w(k) \quad (20)$$

则指尖运动的观测方程描述如下:

$$z(k) = Hx(k) + v(k) \quad (21)$$

依据上述方法可以实现基于图像处理的指尖跟踪过程检测.

4 实验结果及分析

为了验证改进算法的有效性需要进行一次实验.

本次实验采用 Visual C++ 2010 及 OpenCV 2.4.3 对指尖跟踪检测的系统程序进行设计,在有效保证功能的同时,力求降低系统的复杂度及其对硬件设备的要求.

在实验过程中,对手写阿拉伯数字的指尖运动轨迹进行跟踪,采集的视频原图如图 1 所示. 实验中手写数字的轨迹所处平面与采集图像的摄像头 $y-z$ 平面基本平行,且摄像头的坐标系即世界坐标系,当指尖跟踪过程检测的误差 $e \leq 2$ mm 时,则认为此点被成功检测.



图 1 实验视频原图

分别采用传统算法和改进算法进行指尖跟踪的结果如图 2、图 3 所示.

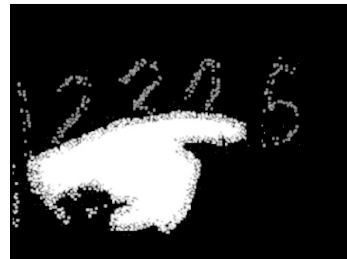


图 2 传统算法指尖跟踪结果

由图 2、图 3 可知,利用改进算法进行指尖跟

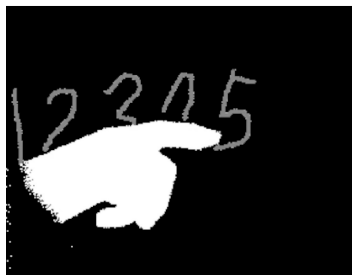


图3 改进算法指尖跟踪结果

踪,跟踪的明显优于传统算法,在优化之前,传统的跟踪方法出现了滞后,而本文的方法能无差错的完成跟踪。

用圆形表示利用传统算法进行指尖点跟踪结果与真实情况的误差,用三角形表示改进算法的指尖点跟踪结果与真实值的误差,分别使目标指尖处在伸直、旋转、弯曲等不同的空间角度下,对指尖点和真实指尖点进行跟踪,对比实验结果分别用图4、图5、图6表示。

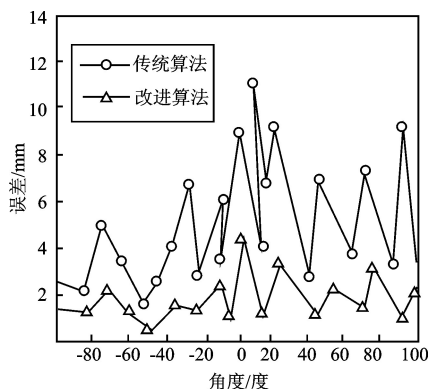


图4 伸直时跟踪误差对比

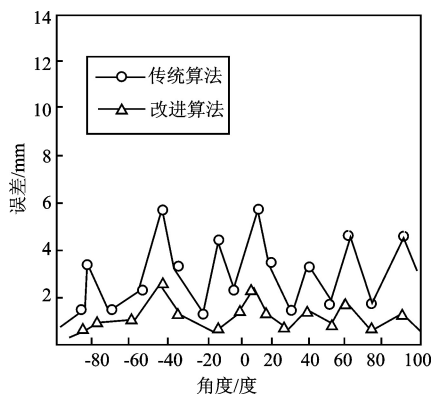


图5 旋转时跟踪误差对比

由图4~6可知,改进算法的误差值均低于传统算法计算的指尖点,且跟踪过程中的误差值保持在较低水平,表明了改进算法的有效性。

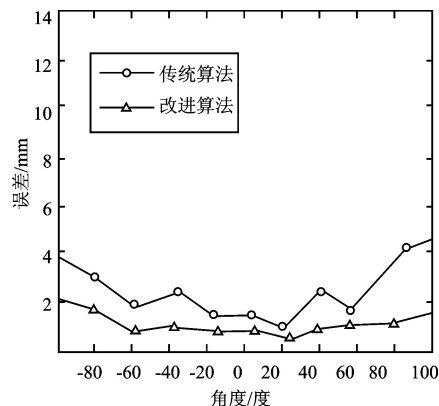


图6 弯曲时跟踪误差对比

5 结束语

针对指尖跟踪过程中必须对背景、前景进行大量约束条件的设定,利用传统算法进行指尖跟踪的准确性与效率较低。为此,提出基于图像处理的指尖跟踪方法。依据贝叶斯原理对采集的图像进行滤波,依据贝叶斯规则求取后验概率,对常数进行归一化处理,并通过建立颜色统计模型计算肤色概率信息,完成对图像区域中手指指尖的跟踪,依据相关理论构建指尖的动态方程,从而完成指尖跟踪的过程。实验结果表明,利用改进算法进行指尖跟踪,能够提高跟踪的精确性与鲁棒性,为人机交互的实现提供强大的技术支持,具有极大的优越性。

参考文献:

- [1] 刘伟华,樊养余,雷涛. 基于深度图像的运动人手检测与指尖跟踪算法[J]. 计算机应用, 2014, 34(5): 1442-1448.
- [2] 于汉超,唐晓庆,刘军发,等. 手掌姿态自适应的单指尖鲁棒跟踪方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(12): 1793-1800.
- [3] 李文生,解梅,姚琼. 基于Laguerre正交基神经网络的动态手势识别[J]. 南京大学学报:自然科学版, 2011, 47(5): 515-523.
- [4] 赵怀勋,姜莹礁. 基于颜色和方向梯度特征融合的粒子滤波跟踪算法[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(6): 260-263.
- [5] 李敏,李俊. 基于人类视觉系统特性的图像质量评价算法[J]. 科技通报, 2013, 29(2): 160-162.
- [6] Xing Weiwei, Wei Xiang, Lu Wei. Weighted time-based global hierarchical path planning in dynamic environment [J]. Transactions of Tianjin University, 2014, 20(3): 223-231.

(下转第128页)

存占用、模拟 CPU 速度等。

中断响应准确性由定时器中断产生的时间间隔为实际测试项,通过对每两次定时器中断产生的时间间隔与理论定时时间的偏差取平均,取得中断响应的准确性指标。

软件内存占用由两种方式稳定运行时的平均内存占用为指标。

模拟 CPU 速度由两种方式全速运行相同程序时的实际平均指令频率为指标。

由表 1 的测试结果可以发现,硬件模拟无论在中断响应准确性还是内存占用、模拟 CPU 速度方面都优于软件模拟。究其原因是软件模拟外设过程中需要更多的内存结构和判断,从而拖累了模拟器的执行效率。在中断响应时也是同理,由于其他外设线程的运行,从而降低了中断响应的实时性。而硬件模拟时,模拟器仅需要 2 个执行线程:主线程和模拟中断线程,其余交由硬件处理,从而提高了中断响应的实时性。

表 1 测试结果

测试项	软件模拟	硬件模拟
定时器中断平均时间偏差/ms	12.5	8.2
内存占用(共打开 5 个外设)/kB	926	583
模拟 CPU 速度(kIPS)	230.1	251.6

6 结束语

本模拟器采用了软件与硬件相结合的方式进行了模拟,不仅能对软件实现的外设进行直观的显示,也能够连接实际硬件设备,达到更加逼真的模拟效果。

硬件模拟虽然需要额外的硬件,但由于软件核心可以变化,实际并不增加过多成本,但其带来了与

外围硬件连接的能力及更好的模拟器效率。

由于上述原因,对于嵌入式处理器,本模拟器在理论验证和实验使用中都优于传统软件模拟器。

参考文献:

- [1] Bellard F. QEMU. A fast and portable dynamic translator[C]// USENIX Annual Technical Conference. [s. l.]:FREENIX Track, 2005: 41-46.
- [2] 王利明,宋振宇,李明,等. 一个开放源码的嵌入式仿真环境—SkyEye[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003(9): 14-18.
- [3] Rosenblum M, Herrod SA, Witchel E, et al. Complete computer system simulation: The SimOS approach[J]. IEEE Parallel and Distributed Technology: Systems and Applications, 1995, 3(4): 34-43.
- [4] Cop ARM. Cortex-M3 Technical Reference Manual [R]. ARM DDI0403, 2010.
- [5] 张激,李宁波. 基于二进制翻译的仿真器关键技术研究[J]. Computer Engineering, 2010, 36(16): 246-248.
- [6] 邓立波,龙翔,高小鹏. ArmSim 全系统模拟器的设计与实现[J]. 微计算机信息, 2008, 1(2): 9-14.
- [7] 王海晨,赵祥模. 应用基于抽象机的动态翻译设计 Java 处理器[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(7): 1-3.

作者简介:

周明君 男,(1990-),硕士研究生.研究方向为嵌入式系统.
 许武军 男,(1972-),博士,副教授.研究方向为智能穿戴系统、嵌入式计算等.
 梁威 男,(1989-),硕士研究生.研究方向为嵌入式系统.

(上接第 124 页)

- [7] 单冬红,赵伟艇. 基于主成分分析的神经网络入侵检测仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(6): 153-156.
- [8] 李亚荣,刘东东,郑腾飞. 基于序列图像的运动目标快速检测技术的研究[J]. 电子技术与软件工程, 2014(3): 117-118.
- [9] Jian-liang Zhang, Zhen-yang Wang, Xiang-dong Xing, et al. Effect of aluminum oxide on the compressive strength of pellets[J]. International Journal of Miner-

als, Metallurgy and Materials, 2014, 2(4): 339-344.

- [10] 于凯. 数字图像边缘特征提取方法及研究[J]. 中国科技纵横, 2014(5): 49-49.

作者简介:

王佳欣 男,(1983-),硕士,讲师.研究方向为计算机应用.
 文政颖 女,(1979-),硕士,讲师.研究方向为计算机应用与图像处理.